

Таким образом, проведенные испытания показали, что сжигание торфяного брикета на котле с П-образным расположением экранных труб эффективнее с точки зрения выработанного и отданного потребителю количества теплоты и экономичнее с точки зрения расхода топлива и стоимости 1 Гкал выработанной тепловой энергии.

## **УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В ТРУБОПРОВОДАХ**

*Ронкин М.В. Калмыков А.А.  
УрФУ, mvronkin@gmail.com*

В современном мире в связи с постоянным ростом цен на энергоносители, сырьевые ресурсы и с целью рационализации их использования промышленные предприятия уделяют пристальное внимание учету производимых и потребляемых энергоресурсов, а также учету выбросов в атмосферу. Наиболее важным показателем, характеризующим измерения расхода при коммерческом учете сырьевых потоков, является точность контрольно-измерительных устройств [1].

Требованиям точности измерений расхода и объема газа удовлетворяет целый ряд применяемых в промышленности методов измерений. К ним относятся методы переменного перепада давления, вихревой, ультразвуковой, ротационный, турбинный, термально-массовый расходомеры. Существенными факторами, влияющими на суммарную точность измерения расхода, являются физические свойства измеряемой среды и конфигурация измерительных трубопроводов [1].

Часто водоканалы, ТЭЦ и другие крупные поставщики и потребители энергоресурсов сталкиваются с проблемами при необходимости организации учета в трубопроводах больших диаметров. До недавнего времени на таких трубах наиболее широкое распространение имели узлы учета на сужающих устройствах. Однако, в силу различных недостатков: необходимости регулярного технического обслуживания, неудобства проведения периодической поверки, узкого динамического диапазона и, наконец, потерь давления, возникает потребность в более современных расходомерах [2].

При использовании на трубопроводах средних и больших диаметров (от 300 мм) ультразвуковые расходомеры оказываются значительно дешевле механических и электромагнитных расходомеров, а иногда и расходомеров на сужающих устройствах (если установка такого узла дорогая). В связи с этим УЗ расходомеры нашли широкое распространение на крупных промышленных объектах, предприятиях водоснабжения и водоотведения, предприятиях теплоэнергетики. [2]. Также важной особенностью является то, что на основе УЗ методов реализуются бесконтактные расходомеры. В них первичные преобразователи устройства устанавливаются на внешнюю сторону трубопровода, не требуя врезания его стенку, либо контакта с измеряемой средой (причем труба мо-

жет быть из любого материал), что значительно упрощает ремонтпригодность расходомера и делает его переносным.

Принцип работы ультразвукового (УЗ) расходомера основан на вычислении разности времен прохождения акустической волны в контролируемой среде по потоку и против него, такая величина является пропорциональной скорости течения среды. Зная площадь трубопровода и коэффициент, характеризующий профиль потока, вычисляют расход. Кроме вычисления непосредственно времени прохождения УЗ волны имеются способы на основе вычисления фазы принятого сигнала и частоты импульсов. Методы на основе определения фазы сигнала при помощи аналоговой техники были широко распространены в 60-70-х годах XX века, однако, оказались забытыми позже, с развитием цифровой техники. В настоящее время основным методом определения времени прихода УЗ сигнала является «пороговый» метод, имеющий большую постоянную составляющую погрешности (до 3 %) и требующий тщательной градуировки показаний от внешних условий [3]. Такой способ имеет высокую погрешность при малом отношении сигнал/шум, что наблюдается, например, в случае бесконтактных методов, при прохождении волны через стенку трубопровода, когда происходит ее значительное ослабление.

Тем не менее, возможности современной элементной базы электроники позволяют предложить сравнительно дешевое решение, позволяющее по-новому взглянуть на проблему определения расхода при помощи ультразвука. Отличительной особенностью разрабатываемого авторами статьи УЗ расходомера является использование созданного цифрового алгоритма обработки сигналов в фазовой области. Алгоритм основан на вычислении разности фаз между опорным (подаваемым на излучатель) и принимаемым сигналами. Причем разность фаз вычисляется во всем объеме полезного сигнала, где его величина значительно преобладает над уровнем шума (выбирается окно). Соответствующие пояснения приведены на рис. 1 [4].

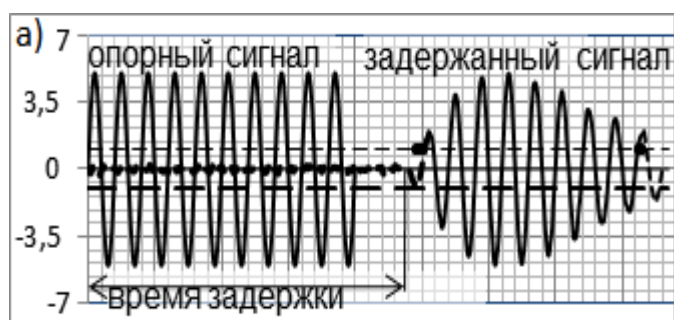


Рис. 1. Принцип работы предлагаемого алгоритма: опорный и принятый УЗ сигналы (а), фазы соответствующих сигналов и окно измерения (б) [4]



При таком подходе время задержки может быть вычислено как разность фаз в соответствующих друг другу точках опорного и задержанного сигнала, с учетом задержки, кратной периоду сигнал.

По рассчитанным данным определяется скорость потока и расход.

Так как реальный сигнал всегда принимается зашумленным, причем преимущественно на фоне белого шума, авторами было проведено численное моделирование разрабатываемой системы в зависимости от соотношения сигнал/шум. Результаты такого сравнения с иными методами обработки сигнала, используем в существующих устройствах, представлены на графике (рис. 2) [5].

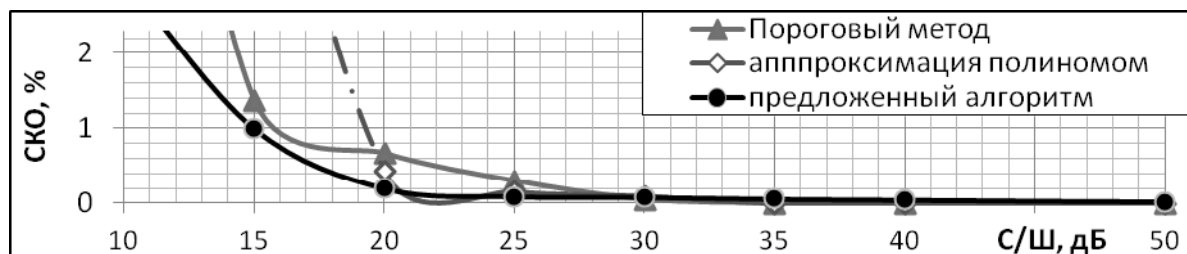


Рис. 2. Сравнение точности методов обработки ультразвуковых времяпролетных сигналов при традиционно используемых методах компаратора метода, аппроксимации полиномом и предложенного подхода [5]

Из рис. 2 видно преимущество предложенного подхода, заключающегося в сохранении высокой точности измерений в случаях более зашумленного сигнала, что определяет пригодность метода для реализации времяпролетного бесконтактного расходомера, где в силу наличия стенок трубопровода на пути акустической волны сигнал всегда принимается при ослабленном отношении сигнал/шум. Кроме того, при использовании современной элементной базы измерений техническими преимуществами прилагаемого подхода являются возможность измерения на трубах диаметром от 8 мм, излучение под углами, близкими к нормали, что сокращает погрешности, вызванные углом ввода УЗ волны в среду.

Таким образом, в работе представлен алгоритм измерений расхода, который будет использован в разрабатываемом переносном бесконтактном измерителе расхода. Показаны точностные преимущества подхода, в сравнении со способами обработки сигнала, используемыми в производимых на сегодняшний день расходомерах. Метод позволяет работать без потери точности при не высоком отношении сигнал/шум, что является актуальным при реализации измерений без контакта с контролируемой средой, т. е. через стенку трубопровода.

#### *Библиографический список*

1. Фафурин В.А., Яценко И.А., Ганиев Р.И., Николаев Н.А. Современное состояние метрологического обеспечения измерений расхода и объема энергетических и сырьевых ресурсов. г. Казань: НИО-5 ФГУП ВНИИР [Электронный ресурс] URL: [http://www.teplotunkt.ru/articles/0138\\_fva\\_rpp.html](http://www.teplotunkt.ru/articles/0138_fva_rpp.html)
2. Азбель В.Я. Ультразвуковые расходомеры – универсальные измерители расхода различных жидких сред. ЗАО "ВЗЛЕТ". [Электронный ресурс] URL: <http://www.gidronics-review.ru/vzlet/1.html>
3. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества вещества. Кн. 2. СПб.: Политехника, 2004. 412 с.
4. Калмыков А.А., Ронкин М.В. Исследование аппроксимационных методов повышения точности локационных фазовых измерительных систем // 23rd Int. Crimean Conference "Mi-

- crowave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013): Материалы конференции. Т. 2. Севастополь: Вебер, 2013. С. 1200-1201.
5. Калмыков А.А., Ронкин М.В. Сравнение цифровых методов определения времени прихода локационных сигналов // Радиовысотометрия-2013: Сборник трудов. Каменск-Уральский: ОАО «УПКБ «ДЕТАЛЬ», 2013. С. 413-418.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ОТОПЛЕНИЕМ

*Ртищева А.С.*

*Ульяновский государственный технический университет  
al.rtisheva@mail.ru*

Автоматическое управление, реализованное в зданиях, ограничивает потребление тепловой энергии на отопление таким ее количеством, которое необходимо для поддержания заданного значения температуры в помещениях. Новизну в задачах управления микроклиматом на сегодняшний день составляет применение методов теории оптимального управления, с помощью которых возможен учет влияния случайных факторов (температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра, дополнительных теплопоступления, связанных с наличием осветительных приборов, компьютерной техники, промышленного или бытового оборудования, а также человека).

Под объектом управления будем понимать тепловую зону (помещение, группу помещений или здание в целом).

В основе модели объекта управления лежит уравнение теплового баланса:

$$c_p \rho V \frac{dt_{вн}}{dt} = Q_{отопл} + \sum_{i=1}^N Q_i, \quad (1)$$

где  $t_{вн}$  – температура внутреннего воздуха;  $V$  – объем помещения;  $c_p$  – массовая изобарная теплоемкость воздуха;  $\rho$  – плотность воздуха;  $Q_{отопл}$  – тепловая мощность системы отопления;  $\sum_{i=1}^N Q_i$  – суммарные тепловые потери и теплопоступления [2, 3].

В уравнении (1) регулируемым параметром является температура внутреннего воздуха. При этом регулирующим параметром может выступать тепловой поток от приборов отопления, а также температура поверхности отопительного прибора или температура теплоносителя в отопительном приборе. Так как наиболее распространенной в нашей стране является система водяного отопления, то в качестве регулируемого параметра рассмотрим температуру теплоносителя в отопительном приборе (радиаторе),  $t_{тепл}$ .

Рассмотрим упрощенный случай, когда тепловые потери ограничиваются только тепловыми потоками теплопередачи через ограждающие конструкции, а внешние возмущения – колебаниями температуры наружного воздуха и случайным характером дополнительных теплопоступлений от человека. При этом уравнение (1) примет вид

$$c_p \rho V \frac{dt_{вн}}{dt} = K_p F_p (t_{тепл} - t_{вн}) - K_{огр} F_{огр} (t_{вн} - t_n) + Q_{чел} N, \quad (2)$$